



# TRAVAUX PRATIQUES

## SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGENIEUR



### Solutions technologiques et modèles de connaissance pour un système

**DC1 DC24  
DC25**

## Robot MAXPID : contrôle de la position du bras

**Problématique :** Un modèle de connaissance d'un système dépend des solutions technologiques adoptées. Aussi vous êtes chargé :

- d'établir la modélisation de votre système à partir des solutions techniques en place (constituants) ;
- de vérifier et valider par simulation l'écart de votre modèle au réel.

Le bras articulé MAXPID s'intègre aux engins agricoles pour permettre une mécanisation optimale (pulvérisation, effeuillage, vendange, taille, ramassage) qui permet de garantir des performances élevées.

Le système du laboratoire correspond à un seul axe d'articulation didactisé avec des capteurs, un logiciel d'acquisition de réglage et de visualisation.



Robot de récolte d'oranges : « Citrus »

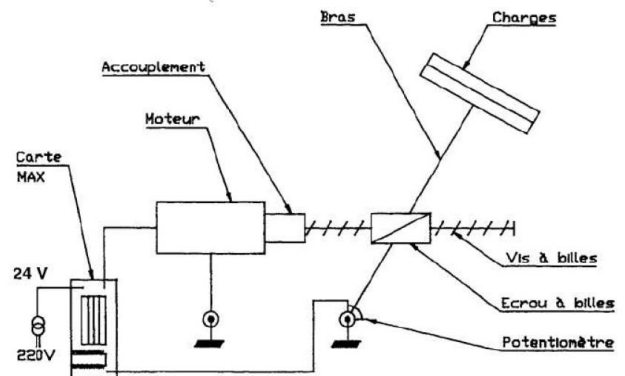


Schéma explicatif

**Démarche à suivre :** La résolution de la problématique proposée est faite sous forme collaborative en trois activités complémentaires autour du même support (*travail en îlot*).

#### ACTIVITÉ 1 DC1 (connaissances de 2<sup>ème</sup> année) (2H30) : Solutions technologiques et modélisation (Analyser et Modéliser)

**Partie 1 (1H30) :** Pour un système complexe (DAE) et les fonctions usuelles de la chaîne d'énergie (alimenter, moduler, convertir et transmettre) et de la chaîne d'information (acquérir et traiter) :

- identifier les solutions technologiques présentes (identification et caractérisation) ;
- modéliser les solutions technologiques principales (établissement de la fonction de transfert).

Chef de projet

**Partie 2 (1H) Pour le système dont vous êtes en charge (robot MAXPID) :**

- transposer votre étude effectuée sur la DAE et proposer une représentation du graphe CECI ;
- communiquer les solutions adoptées au groupe (chaîne d'énergie et d'information).

#### ACTIVITÉ 2 DC24 (2H30) : Contrôle et performances des systèmes asservis, modèle de connaissance (Modéliser)

Par une approche globale du système et en exploitant sa documentation technique :

- identifier les éléments et établir une partie du modèle de connaissance ;
- modéliser par simulation numérique le comportement du modèle obtenu (logiciel SCILAB) et proposer une démarche à partir de réponses temporelles permettant de le comparer au système réel.

#### ACTIVITÉ 3 DC25 (2H30) : Solides déformables et sollicitations (Analyser et Modéliser)

- identifier qualitativement les contraintes et la nature des déformations et sollicitations de la structure ;
- établir un modèle de description par la forme d'écriture du tenseur de cohésion ;
- préciser les critères de choix des matériaux et de leur dimensionnement.

#### ACTIVITÉ COMMUNE DE SYNTHÈSE ET RESTITUTION ORALE (20' + 5') / (Communiquer)

Le chef de projet gère la mise en commun des travaux effectués, il complète la « fiche bilan » distribuée, synthétise les études et résultats obtenus avec pour objectifs de :

- comprendre et expliquer le lien entre les 3 activités et la problématique posée ;
- présenter oralement cette synthèse et les principaux résultats obtenus en respectant les critères d'évaluation.

**ACTIVITÉ 1 (2H30) : Solutions technologiques et modélisation (Chaîne d'énergie et d'information)**

- **Partie 1 (1H30) : Chaîne d'énergie et d'information d'un système complexe (DAE)**

Prendre connaissance de la documentation technique de la DAE et exploiter son contenu pour fournir des réponses **précises et rigoureuses** (vocabulaire) et des **données chiffrées** relatives à la qualification de l'énergie (puissance, tension, courant, fréquence...) ou de l'information (forme, domaine, linéarité, précision, vitesse, bande passante...).

**Chaîne d'énergie électromécanique**

- 1) Pour une automobile, lorsque le véhicule est à l'arrêt puis lorsque le moteur thermique fonctionne, nommer les constituants assurant la fonction « **Alimenter** » du domaine électrique. Indiquer la nature de ces sources ainsi que leurs caractéristiques pour le véhicule TWINGO.
- 2) Pour la DAE, identifier sur le système du laboratoire le constituant assurant la fonction « **Convertir** » ; donner son nom, sa technologie. Indiquer par quelle autre technologie de machine elle est actuellement remplacée.
- 3) À partir de la source d'alimentation présente, indiquer le nom et représenter le symbole fonctionnel et le schéma de structure des différentes fonctions « **Distribuer** » à mettre en place pour :
  - recharger la batterie d'accumulateurs ;
  - moduler l'énergie de la machine électrique d'assistance de l'ancienne génération ;
  - moduler l'énergie de la machine électrique d'assistance de la génération actuelle.
- 4) Indiquer pour ces 2 générations de machines les variables électriques de contrôle de la vitesse et du couple. Fournir les relations utiles pour justifier vos réponses.
- 5) Identifier et nommer chacun des constituants assurant la fonction « **Transmettre** » à partir du rotor de la machine électrique jusqu'aux pivots de roue, en étant **précis, rigoureux et complet** sur le vocabulaire.

**Chaîne d'information**

- 6) Localiser sur le système DAE du laboratoire tous les éléments permettant de réaliser la fonction « **Acquérir** » et donner leur nom et technologie. Préciser pour chacun de ces capteurs le rôle joué pour le système du laboratoire.

Un seul de ces capteurs est utile à la fonction « mesurer le couple exercé par le conducteur au volant » et ce capteur doit être robuste, fiable et sans usure sur la durée de vie du véhicule.

- 7) Indiquer de quel capteur il s'agit et préciser en quoi il est robuste, fiable et sans usure.

La tension issue du capteur de couple doit être numérisée et transmise sur le bus CAN du véhicule.

- 8) Donner alors la forme de l'information obtenue et la manière dont les bits sont transmis. Nommer les 2 fonctions à prévoir pour « **Adapter ou Traiter** » l'information.

Le niveau de couple d'assistance dépend de 2 variables : le couple qu'exerce le conducteur au volant et la vitesse du véhicule. On utilise ces variables dans des lois prédéfinies pour un véhicule donné, voire ajustables par le conducteur à l'arrêt (conduite éco ou sportive).

- 9) Citer des moyens et constituants capables de « **Stocker** » les lois de comportement de l'assistance.

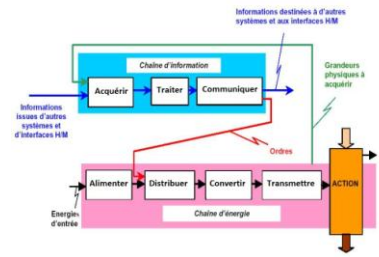
- 10) Préciser comment on peut « **Traiter et Calculer** » la loi d'assistance en temps réel.

**Éléments de modélisation**

- 11) En partant des équations de la machine à courant continu, établir le schéma bloc de cette machine ayant pour variable d'entrée la tension aux bornes de l'induit  $U_M$  et comme sortie la vitesse de rotation du rotor  $\Omega_{R/0}$ .
- 12) Donner les expressions littérales et valeurs numériques permettant de modéliser la fonction de transfert électrique de l'induit sous forme d'un premier ordre passe bas avec  $K_A$  son coefficient statique et  $\tau_E$  sa constante de temps.
- 13) Exprimer la fonction de transfert de l'élément présent entre le rotor moteur et la colonne de direction.
- 14) Exploiter la notice d'un capteur de couple pour établir la fonction de transfert sous forme littérale puis numérique entre le couple au volant en  $C_V$  (Nm) et sa tension de sortie  $V_C$  (V).

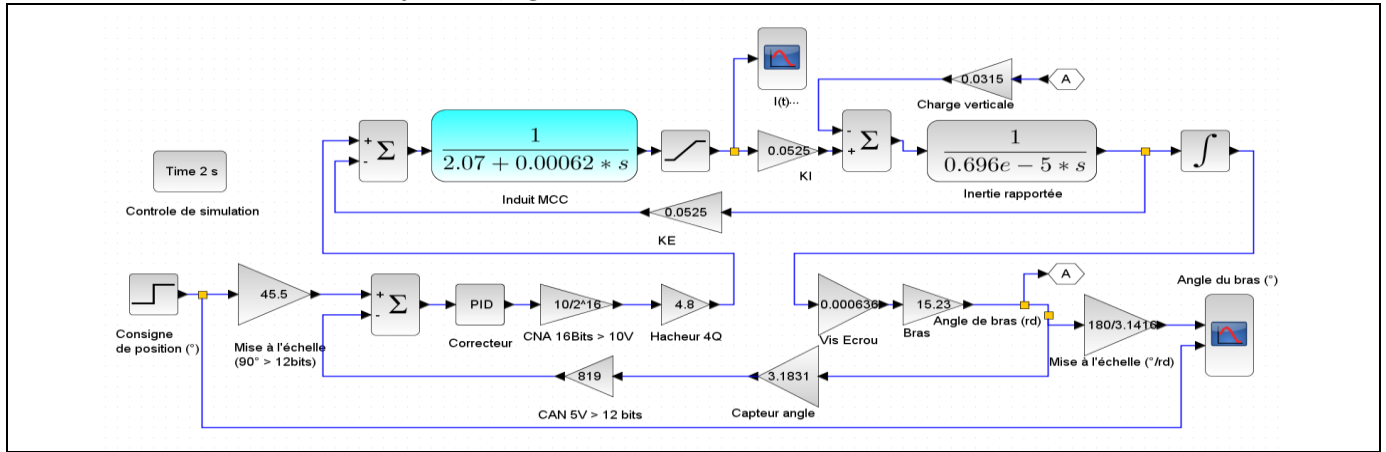
- **Partie 2 (1H) : Chaîne d'énergie et d'information du système MAXPID**

- 15) **Exploiter et transposer** ce que vous avez établi en première partie, **communiquer** avec le responsable de l'activité 2 pour :
  - **décrire** la Chaîne d'Énergie et la Chaîne d'Information (CECI) du système **MAXPID** en vous aidant de son dossier technique et en remplissant un document réponse « DR CECI » ;
  - **préparer** votre intervention orale qui ne se fera que sur le système **MAXPID** ;
  - **anticiper** les questions « classiques » que l'interrogateur va vous poser.



**ACTIVITÉ 2 (2H30) : Contrôle et performances des systèmes asservis, modèle de connaissance**

On utilise une modélisation du système (logiciel SCILAB) selon le schéma bloc ci-dessous (voir document DR1)



**Partie 1 : COMPRÉHENSION GLOBALE DU MODÈLE, FONCTION DE TRANSFERT DE CONSTITUANTS**

Répondre en annotant clairement le document réponse DR1.

1. Localiser sur le document DR1 le moteur électrique et préciser sa technologie.
2. Représenter (sur feuille) le modèle électrique de l'induit (schéma), et exprimer son équation électrique instantanée puis dans le domaine de Laplace. Dédire l'expression du courant  $I(p)$  et la fonction de transfert de l'induit.
3. Sur le document DR1, situer et noter les variables suivantes : tension d'induit  $U(p)$ , fem  $E(p)$ , courant  $I(p)$ , couple électromagnétique  $Cem(p)$ , vitesse rotorique  $\Omega_{R/O}(p)$ , angle de rotation  $\theta_{R/O}(p)$ . justifier la présence du bloc intégral.
4. Utiliser la notice du moteur (**Annexe 1 : Moteur MAXPID type RE35 ; réf 118778**) et rechercher les valeurs numériques réelles pour :

- le modèle de l'induit et en déduire sa constante de temps  $\tau_E$  en ms ;
- le moment d'inertie  $J_M$  du moteur seul (le convertir en  $kg \cdot m^2$ ).

5. Exprimer littéralement l'énergie cinétique des masses en translation suivant un axe et en rotation autour d'un axe. Justifier alors l'écart entre  $J_M$  et  $J_{e0}$  placé dans le modèle lorsque le moteur est accouplé à une charge mécanique.

L'axe du moteur entraîne directement une vis à bille à filet simple de pas 4mm/tour et la course de l'écrou de sortie  $X(mm)$  est liée à la rotation angulaire  $\theta$  (°) du bras par la loi entrée/sortie fournie dans l'Annexe 2.

6. Localiser et vérifier numériquement sur le document DR1 la fonction de transfert de la transmission vis/écrou en unités SI. Linéariser la loi entrée/sortie du bras autour de 45° en exploitant graphiquement l'annexe 2 et déduire la fonction de transfert  $K_{ES} = \text{Angle de bras} / \text{Course d'écrou}$  en rd/m. Vérifier sa valeur numérique dans le modèle.

Le capteur de position angulaire du bras délivre 5V pour une rotation de 90°, sa loi est linéaire. Cette information est ensuite numérisée par un CAN 12bits pour une plage de tension de 5V.

7. Localiser et vérifier numériquement (USI) la fonction de transfert analogique et numérique de la mesure de position.
8. Entourer en vert sur le document DR1 la partie du modèle où l'information est sous forme numérique.

**Partie 2 : EXPLOITATION DU MODÈLE, SIMULATION NUMÉRIQUE, ANALYSE DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE**

Pour vérifier les valeurs numériques des paramètres du modèle, y accéder par « simulation > modifier le contexte ».

9. Ouvrir le fichier **MAXPID TP3 2015 JCR.zcos** par un double clic et attendre quelques secondes.
10. Vérifier les valeurs numériques des éléments du modèle.
11. Régler le correcteur de position PID (double clic sur le bloc) en mode proportionnel pur ( $K_p=500$  ;  $K_i=0$  et  $K_d=0$ ) ; puis lancer la simulation pour un angle de consigne de 60° retardé de 0,1s. Attendre l'obtention des résultats graphiques.
12. Imprimer directement ces tracés ou copier /coller dans un document Word. Donner un titre précis identifiant la situation simulée.
13. Qualifier la nature de la réponse transitoire en justifiant ; puis relever en sortie de l'asservissement les résultats suivants (**distinguer valeur absolue (unités) et relative (%)**) :
  - valeur finale et valeur éventuelle du premier dépassement  $D1(\%)$ , erreur statique absolue et relative ;
  - temps de réponse à 5% et temps de montée (de 10% à 90% de la variation de la sortie) ;
  - pseudo période  $T_{osc}$  éventuelle des oscillations en secondes.

14. Relever la valeur du maximum de l'angle atteint et commenter cette situation pour le système.

On souhaite obtenir une réponse sans dépassement mais la plus rapide possible (amortissement  $m = 1$ , réponse dite critique) et sans erreur statique.

15. Modifier le correcteur (terme proportionnel) et ajouter un terme intégral. Essayer d'obtenir la réponse demandée.

**Synthèse de l'activité 2 à faire absolument au terme des 2h30**

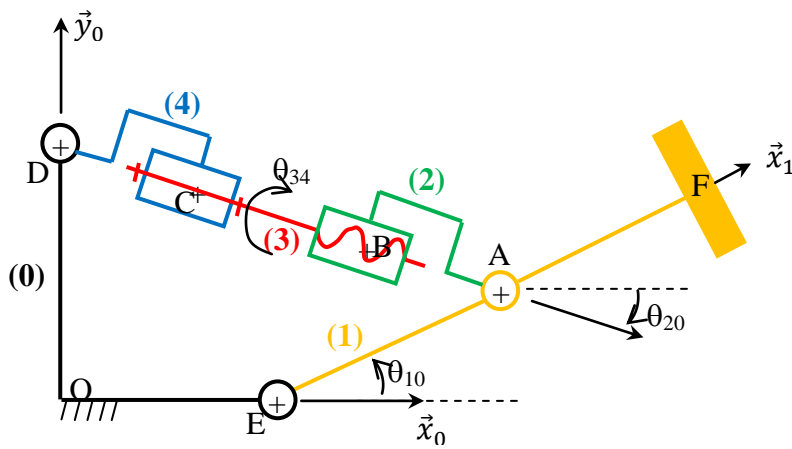
16. Proposer une synthèse de votre activité pour la communiquer au chef de projet.

**ACTIVITÉ 3 CI25 (2H30) : Contraintes, déformations et sollicitations de la structure / Critères de choix des matériaux et de leur dimensionnement.**

**Approche globale du dimensionnement d'un système**

1. Dans le cas de problèmes statique ou/et dynamique, justifier l'intérêt de déterminer les actions mécaniques qui se propagent dans les différentes pièces d'un mécanisme.

**Système étudié : bras de robot MAXPID**



- (0) : bâti
- (1) : bras
- (2) : écrou
- (3) : vis à billes (pas  $p = 4 \text{ mm}$ )
- (4) : bloc moteur

2. En observant le système réel, justifier que le bras (1) peut être assimilé à une poutre pour une étude de résistance des matériaux.

Un modèle de poutre très simplifié du bras est proposé. La position étudiée correspond à  $\theta_{10} = 0^\circ$ .



3. Représenter ce modèle sur votre compte-rendu et mettre en place l'action  $\vec{P}_C$ , correspondant au poids des charges appliqué en F.
4. Proposer une démarche détaillée, mais sans engager la résolution analytique, permettant de déterminer les sollicitations présentes tout le long du bras.
5. En fonction des actions mécaniques présentes, établir le type de sollicitations subies par le bras. Donner l'allure du torseur de cohésion au point G.
6. À partir de votre intuition et de votre expérience technique, représenter le plus précisément possible, sans notion d'échelle, la déformation du bras subissant cette action  $\vec{P}_C$ .

Le modèle de poutre utilisé est désormais le suivant :

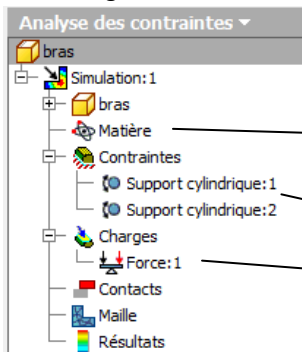


7. Le représenter sur votre compte-rendu puis dessiner l'allure de la déformation si  $\vec{P}_C$  est appliqué en F.
8. Préciser lequel de ces 2 modèles se rapproche le plus du système réel.
9. Le bras est asservi en position. À partir des constats faits lors des questions précédentes, conclure sur la précision que l'on pourra atteindre au niveau de l'extrémité du bras.

**Étude des résultats donnés par le modèle numérique**

10. Enregistrer sur votre espace personnel puis ouvrir l'assemblage « maxpid TSI 2014 », ouvrir la pièce « bras ». Dans l'onglet « Environnements », « Analyse des contraintes », créer une nouvelle simulation statique.

Avant de lancer la simulation il est impératif de compléter certaines informations :

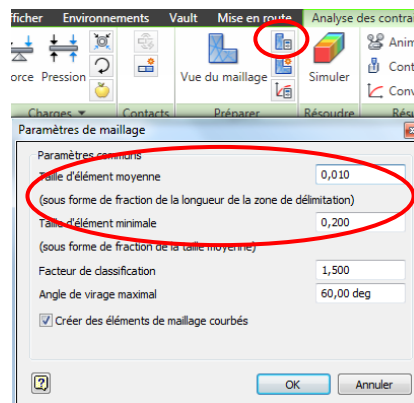


- Aluminium 6061 AH (matériau déjà défini lors de la conception de la pièce)
- Ajouter 2 supports cylindriques en E et A (correspond à 2 pivots)
- Appliquer une charge de 200 N au point F (suivant Z)

11. Visualiser le maillage par défaut de la pièce. Préciser son rôle. Justifier brièvement l'intérêt de résoudre le problème par logiciel. Ressource possible : [http://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thode\\_des\\_%C3%A9l%C3%A9ments\\_finis](http://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thode_des_%C3%A9l%C3%A9ments_finis).

TP série 3 v19 : Robot MAXPID

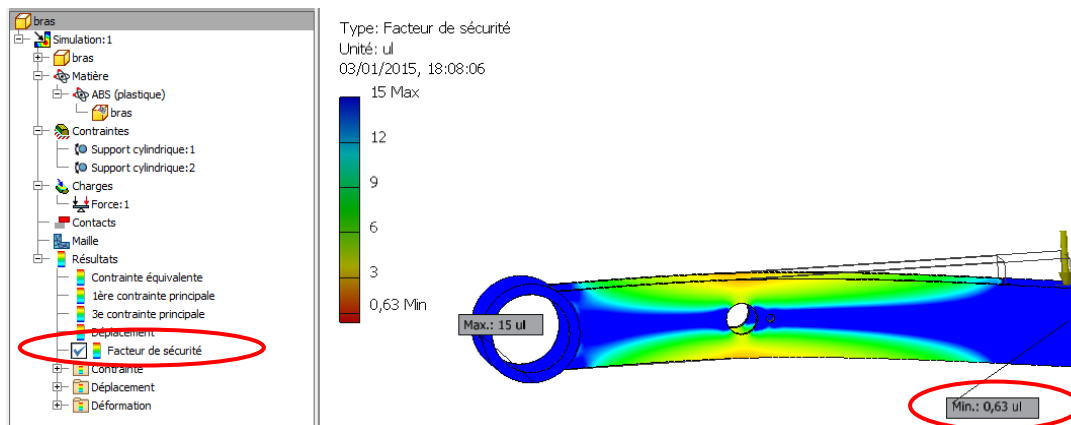
- 12. Lancer la simulation. Dans « Résultats », « Contrainte équivalente », relever la valeur maximum des contraintes équivalentes dans la pièce.
- 13. Relever également le « Déplacement » maximum du bras. Compléter votre réponse à la question 7 si nécessaire.
- 14. Modifier la taille moyenne des éléments du maillage :  
Mettre à jour le maillage (clic droit sur « Maille » dans l'arbre de construction).  
Relancer une simulation.



- 15. Indiquer si les valeurs des contraintes et du déplacement ont évolué.
- 16. Citer le principal avantage d'avoir un maillage très fin. Préciser également un inconvénient possible. Proposer une solution optimisant ces 2 aspects.
- 17. Comparer le modèle de poutre simulé avec ceux étudiés dans les questions 3 et 7.

**Influence du matériau sur le comportement du bras**

- 18. Modifier la « Matière » associée au bras, en sélectionnant de l'ABS. Préciser l'influence sur le déplacement en bout de bras.
- 19. À partir de l'éditeur de styles (onglet « Matière »), repérer le(s) paramètre(s) prépondérants dans la résistance du matériau.
- 20. À partir du critère de limite élastique de l'ABS et de la valeur de la contrainte équivalente maximale répertoriée dans la pièce, retrouver la valeur du coefficient de sécurité minimum.



- 21. Conclure sur le choix de ce matériau avec la valeur du coefficient de sécurité minimal trouvé.
- 22. Proposer 3 modifications différentes de conception (croquis au crayon sur votre compte-rendu) permettant de remonter ce coefficient (penser au matériau, à la forme et aux dimensions).

**Synthèse**

- 23. Où et quand intégrer une démarche de dimensionnement dans le cadre général d'une conception d'un système ? donner des précisions sur les démarches de résolutions envisagées (expérimentales, simulations). Associer les résultats obtenus avec l'aspect asservissement de ce même système.